

(36) アングルジベル構造の耐荷性能に関する実験的研究

An Experimental Study on Static and Fatigue Durability of Angle Shear Connectors

鈴木永之 *, 長田光司 **, 鞠 一 ***, 溝江慶久 ***, 倉田幸宏 ****
Noriyuki Suzuki, Koji Osada, Hajime Tomo, Yoshihisa Mizoe, and Yukihiro Kurata

- * 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)
** 工博, 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)
*** 工修, 日本橋梁建設協会 (〒104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)
**** 日本橋梁建設協会 (〒104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)

In order to confirm the static strength and the fatigue durability of angle shear connectors, static and fatigue loading tests were performed on element specimens using full-scale shear connectors. In these tests, investigation was made into angle shear connectors subjected to shearing force, tensile force and combined force. Moreover, these results were effectively compared with those of stud shear connectors.

As a result, we were able to confirm that the shearing strength on longitudinal direction depends upon the concrete bearing strength and that the shearing strength on transverse direction depends upon the diameter of penetrative reinforcement and that the tensile strength could be remarkably improved with U-shape reinforcement.

Key Words: shear connectors, shearing force, tensile force, static strength, fatigue durability

1. はじめに

近年, 橋梁をはじめとする土木構造物の建設に際し, 省コスト化を目的として鋼とコンクリートを用いた合成構造が盛んに採用されている. また, 鋼橋の分野では, これまで鉄道橋においてのみ考慮されていた疲労問題が, 道路橋においても設計に配慮されることとなった¹⁾. 土木構造物に対する長寿命化の要求が高まるなか, 合成桁橋においては, 重要な部材の 1 つである接合部ずれ止めの耐久性を十分に確保する必要がある.

また, 鋼少数主桁橋のような床版支間の広い橋梁では, 横桁位置の垂直補剛材直上付近に配されたずれ止めに, 現状の設計では考慮していない鉛直方向の引抜き力が橋軸直角方向偶力により生じることが幾つかの文献²⁾で報告されている. 床版支間の長大化などによって複雑化した作用力に対し, 改めてずれ止め構造の力学的特性や耐久性を実験的に明らかにする必要があると考えられる.

一方, 現在盛んに建設が進められている波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋では, 接合部の耐荷力向上を図る目的で, 図-1 に示す等辺山形鋼 (以下, アングル形鋼) を用いた新しいずれ止め構造を採用している. このアングルジベル構造では, 2 つの貫通孔を設けたアングル形鋼を鋼フランジ上に全周すみ肉溶接にて取付け, 貫通孔には貫通筋を通し, 多くの場合,

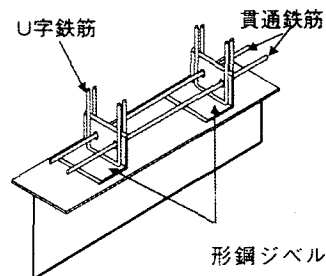


図-1 アングルジベル構造

アングル形鋼には U 字形に曲げ加工した鉄筋をフレア溶接にて取付けている. 設計上, 水平せん断力に対してはアングル形鋼に面するコンクリートあるいは形鋼取付けのためのすみ肉溶接部が抵抗することになっているが, 実橋での採用実績が多い 150mm サイズのアングル形鋼を用いた場合には, 配置個数はすみ肉溶接サイズで決定される. また, 引抜き力に対しては, 2 本の貫通筋が抵抗することになっているが, 貫通筋のせん断強度のみでは抵抗しきれない場合, U 字筋をアングル形鋼にフレア溶接し, U 字筋の引張強度を見込むこととしている. しかしながら, U 字筋フレア溶接部は, 繰返し曲げ引抜き力に対し, 弱点部となることが報告されており³⁾, 製作する上でも手間となることから可能な限り溶接しないことが望ましい. アングルジベル構造の耐荷性能を明らかにし, U 字筋設置のためのフ

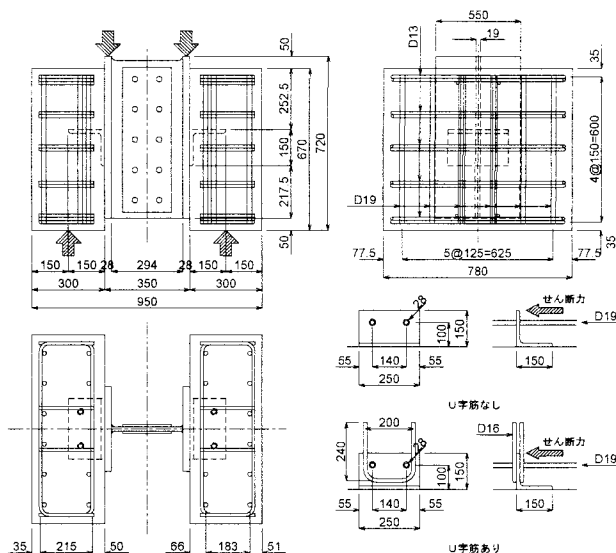


図-2 橋軸方向押抜き試験体

レア溶接を不要とすることができれば、新しいずれ止め構造として有望であると考えられる。

そこで、著者はアングルジベル構造の耐荷性能を確認するため、実物大のジベル構造を用いた接合部要素試験体の静的載荷試験と疲労試験を実施した。作用力として、水平せん断力、引抜き力、およびこれら2つの組合せ力に着目したが、水平せん断力と引抜き力については、頭付きスタッドジベルに関する載荷試験をともに実施し、両者を比較した。

2. 試験体および試験方法

上述したように、試験では水平せん断力と引抜き力およびこれら2つの組合せ力に着目したが、水平せん断力に関しては、アングル形鋼が構造上、方向性を有することに配慮して、2方向（橋軸方向、橋軸直角方向）のせん断試験を実施した。なお、水平せん断力に着目した疲労試験は、繰返しの車両走行を対象として橋軸方向に対してのみ実施した。

2.1. 橋軸方向水平せん断力に対する静的載荷試験

橋軸方向の水平せん断力に着目した静的載荷試験では、図-2 に示すような押抜き試験体を使用した。試験体の諸元を表-1 に、試験体の種類および試験体数を表-2 に示す。試験では、U字筋の有無をパラメータにアングルジベルの基本的な耐荷性能を確認した。ここで、U字筋はアングル形鋼に溶接せず、貫通筋に結束線で固定することとした。また、U字筋なし構造を基準として、アングル形鋼の取付け溶接サイズやアングル形鋼の長さ、配置個数、作用力方向などをパラメータに耐荷力試験を実施した。なお、試験体の製作にあたっては、鋼フランジとコンクリートブロックとの付着を排除するた

表-1 試験体の諸元

コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	
主鉄筋	D13	(SD345)
配力筋	D19	(SD345)
アングルジベル	L-150×150×15×250 or 400 or 200	
貫通筋	D19	(SD345)
U字筋	D16	(SD345)
フランジ鋼板	t=28mm	(SM490)
ウェブ鋼板	t=19mm	(SM490)

表-2 橋軸方向押抜き試験体の種類および試験体数

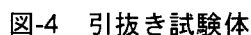
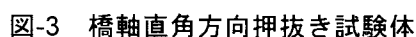
シリーズ名	U字筋	すみ肉 サイズ	ジベル 長	せん断力 作用方向	試験 体数
LANN	なし	9mm	250mm	前面	3
		4mm			3
LANN400		9mm	400mm		2
LANN2@200			200mm		2
LANN-C	なし	4mm	250mm	背面	3
					3
LAUN	あり	9mm		前面	3

め、接触するフランジ面にはグリースを塗布し、その上にラップを敷設した。

試験は、JSSC「頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)」⁴⁾に従い、変位制御による漸増繰返し載荷法にて実施した。試験体の設置に際しては、コンクリートブロックの下面に無収縮モルタルを敷設し、左右ブロックの傾きを無くした。試験では、鋼ブロックとコンクリートブロックの相対ずれ変位をアングルジベルのウェブ板厚中央高さで計測した。

2.2. 橋軸直角方向水平せん断力に対する静的載荷試験

アングルジベルは構造上、方向性を有するため、風荷重や地震荷重によって生じる橋軸直角方向水平せん断力に対する静的耐荷力を確認した。試験体を図-3 に、試験体の種類および試験体数を表-3 に示す。試験では、U字筋設置の有無による影響を確認するとともに、貫通筋径をパラメータにした試験体を用意し、アングル形鋼に面したコンクリートと貫通筋が受け持つせん断力の分担率を確認した。この際、貫通孔の径は、貫通孔内のコンクリート耐力をすべての試験体で同等にするため、波形鋼板ウェブPC箱桁橋で標準的に使用されているディテールを参考に、貫通筋径に9mmを加えた大きさとした。なお、試験体の製作にあたっては、配筋を橋軸方向水平せん断力着目の試験体と90°反対としている。



試験では、鋼ブロックとコンクリートブロックの相対ずれ変位をジベル中央高さで計測した。

試験は、水平せん断力に対する押抜き試験と同様に、変位制御による漸増繰返し載荷法にて実施した。試験体は、円孔を有する定着板を介して四隅をPC

シリーズ名	U 字筋	貫通筋径	試験体数
TANN	なし	19mm	3
TANN13		13mm	1
TANN06		6mm	1
TANN00		なし	1
TAUN	あり	19mm	3

シリーズ名	U 字筋	引抜き力	せん断力 作用方向	試験体数
LANN	なし	なし	前面	3
LANH		0.25T		2
LANF		0.50T		2
LANN-C		なし	背面	2
LAUN	あり	なし	前面	3
LAUH		0.25T		2
LAUF		0.50T		2

鋼棒にて試験室フロアに固定した。鋼ブロックウェブの鉛直度を確保するため、コンクリートブロック下面には砂を敷設した。試験では、鋼ブロックフランジの鉛直変位（引抜き量）をジベルウェブ配置位置で計測した。

橋軸方向水平せん断力と同時に引抜き力を負荷させ、組合せ力に対する U 字筋なしアングルジベル構造の耐荷力を確認した。試験体数は 2 体とし、それぞれに引抜き試験で得られた引抜き耐荷力の 50%(129.7kN)と 25%(64.9kN)の引抜き力を作用させた。引抜き力の導入には油圧ジャッキを用い、アングルジベルのウェブ位置に終始一定の作用力を負荷させた。使用した試験体は図-2 と同様である。

使用した試験体は図-2 と同様である。試験体の種類および試験体数を表-4 に示す。試験では、U字筋の有無をパラメータにアングルジベルの基本的な疲労耐久性を確認した。また、U字筋なし構造について、作用力方向をパラメータに試験を実施した。さらに、U字筋なし、U字筋ありのそれぞれの構造に対して、せん断力振幅と同時に引抜き力を負荷することにより、繰返しの組合せ力に対するアングルジベルの疲労耐久性を確認した。繰返しの水平

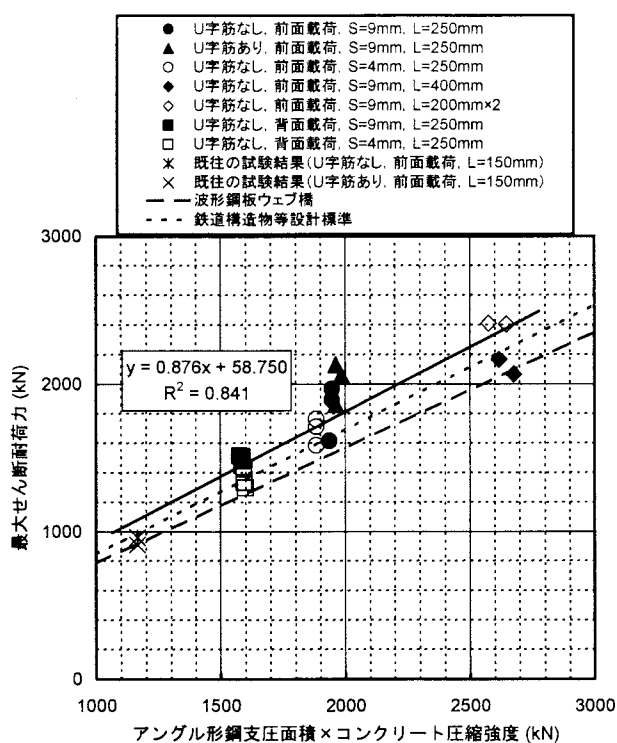


図-5 橋軸方向水平せん断力耐力

せん断力を押抜き試験体に負荷すると、これに伴いコンクリートブロック間距離も振幅する。そのため、一定の引抜き力を導入するためには、同位相で荷重を制御することが望ましいが、本試験では簡易的に、両コンクリートブロック間をネジで拘束し、PC 鋼棒に圧縮力を導入することにより引抜き力を与えることとした。

試験は、片振り圧縮荷重で行い、荷重制御にて下限荷重を 10kN とし、上限荷重を荷重振幅に合わせ決定した。また、荷重は正弦波で与え、試験体のレスポンスを確認しながら、周波数を 1.5～4.0Hz に設定した。

2.6. 引抜き力に対する疲労試験

使用した試験体は図-4 と同様である。試験では、U 字筋の有無をパラメータにアングルジベルの基本的な疲労耐久性を確認した。用意した試験体数はそれぞれ 6 体である。

試験方法は水平せん断力に着目した疲労試験と同様である。

3. 試験結果

3.1. 橋軸方向水平せん断力に対する静的耐力

試験体はすべてコンクリートの支圧破壊により終局に至った。最大せん断耐力をアングル形鋼の有効支圧面積（ジベル長さ×ジベル高さ）とコンクリート強度の積を用いて整理した結果を図-5 に示

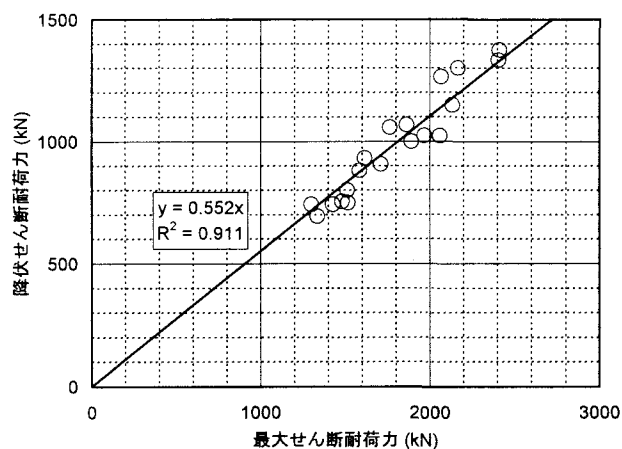


図-6 最大せん断耐力と降伏せん断耐力

す。図中には、文献 5) に示されたジベル長 150mm のアングルジベル構造に関する押抜き試験結果と既往の 2 つのせん断強度式をともに示した。これら強度式は、現在、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋で用いられているアングルジベルを対象としたせん断強度式⁵⁾と鉄道橋で用いられている馬蹄形ジベルを対象としたせん断強度式⁶⁾である。これより、アングルジベルのせん断耐力は、せん断力の作用方向、取付け溶接サイズ、ジベル長などの構造詳細に関わらず、ジベルの有効支圧面積とコンクリート圧縮強度の積に比例して増大することがわかった。

なお、アングルジベルの耐力は、U 字筋を設置することにより向上したが、U 字筋がコンクリートの支圧に対して抵抗し、かつ終局時のずれ挙動を拘束した結果と推測される。また、有効支圧面積の等しい $L=400\text{mm}$ と $L=200\text{mm} \times 2$ を比較すると、配置個数を 2 個とした $L=200\text{mm} \times 2$ の方が耐力は高くなった。並列する 2 個のジベル間に隙間 (50mm) を設けたことで支圧分布面積が増し、耐力が向上したものと推測される。一方、比較のために実施した $\phi 22 \times 200$ 頭付きスタッドジベルの押抜き試験の結果、スタッドジベル 1 本あたりのせん断耐力は約 235kN であった。よって、ジベル長 250mm のアングルジベル 1 個の耐力は $\phi 22$ スタッドジベルの約 8 本分であることがわかった。

図-6 に最大せん断耐力と降伏せん断耐力の関係を示す。ここで、降伏せん断耐力は 0.2mm オフセット法⁴⁾により求めたが、これは計測した残留ずれ変位が、0.2mm 前後で急変していたためである。これより、両者は構造詳細によらず線形の比例関係にあり、降伏せん断耐力（ずれ限界）は最大せん断耐力の約 55% であることがわかった。

3.2. 橋軸直角方向水平せん断力に対する静的耐力

試験体はすべてコンクリートの支圧破壊により終局に至った。U 字筋を設置しないアングルジベル

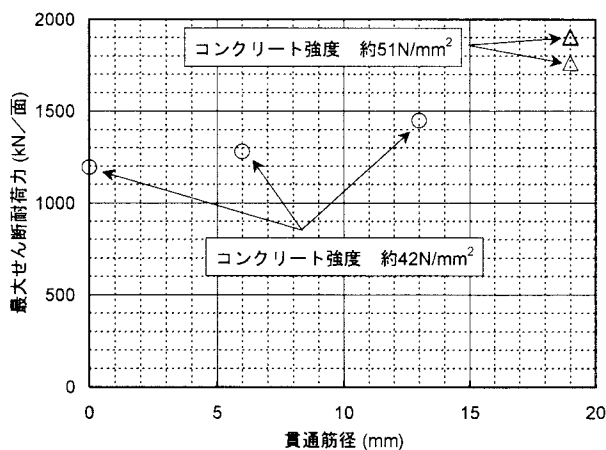


図-7 橋軸直角方向水平せん断耐力

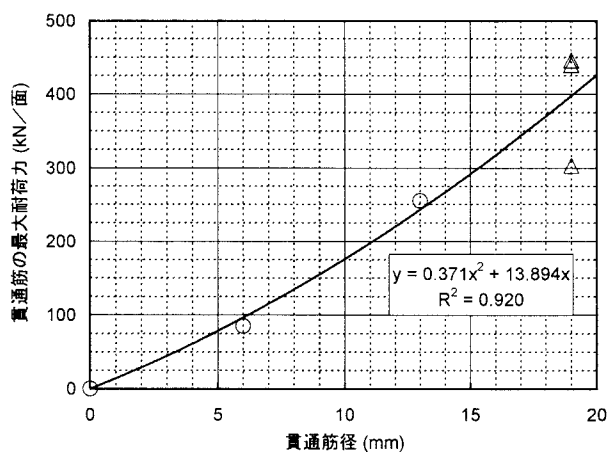


図-8 貫通筋の最大耐力

構造について、貫通筋径をパラメータに最大せん断耐力を整理した結果を図-7 に示す。これより、最大せん断耐力は貫通筋径が大きいほど高いことがわかった。また、最大せん断耐力は、貫通筋を設置しなかった試験体(図中の貫通筋径がゼロの試験体)の耐力を基準に、アングル形鋼に面したコンクリートの支圧耐力と貫通筋の耐力に分けられるものと考えられた。

そこで、図-8 に、個々の最大せん断耐力の値から貫通筋を設置しなかった試験体の値を差分して求めた貫通筋の最大耐力を示す。ここで、コンクリート強度の異なる貫通筋径 19mm の試験結果については、アングル形鋼に面したコンクリートの支圧耐力がコンクリート強度に正比例するものとして、コンクリート強度に対する換算を行った。図中には、全試験結果を対象に、2 次式で近似した曲線も示したが、近似曲線に 2 次式を用いたのは、別途実施した貫通筋(円形の梁と仮定)の骨組解析結果から、貫通筋の耐力が径の 2 乗に比例することが推測されたためである。これより、データ数が少ないものの、それらは 1 本の曲線上にまとまっており、貫通筋の耐力が径の 2 乗に比例することを

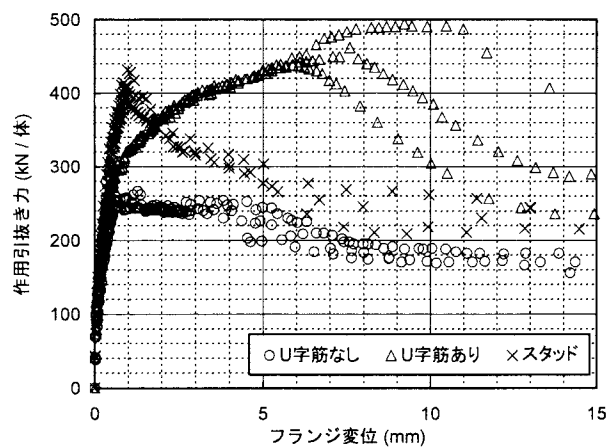


図-9 作用引抜きカーフランジ変位

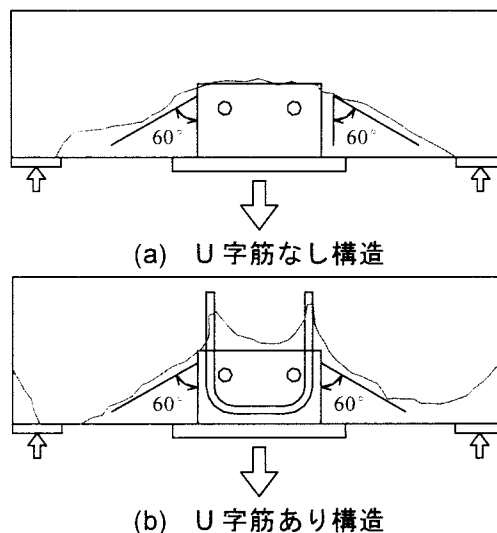


図-10 引抜き力による破壊状況

確認することができた。この結果、例えば D19 鉄筋を用いたアングルジベル構造について、終局時のアングル形鋼に面したコンクリートと貫通筋のせん断力分担率は約 3 : 1 (= 1194kN : 398kN)であることが考えられた。なお、残留ずれ変位の急変点であった 0.5mm をオフセット量として求めた降伏せん断耐力についても同様の分担率が得られた⁷⁾。

一方、U 字筋あり構造については、最大せん断耐力、水平せん断ずれ性状ともに U 字筋なし構造と大きな違いは見られなかった。

3.3. 引抜き力に対する静的耐力

試験体はすべてコンクリートの引抜きせん断破壊により終局に至った。作用引抜き力とフランジ変位(引抜き量)の関係を図-9 に示す。図中には U 字筋なし構造、U 字筋あり構造の結果とともに、φ 22×200 頭付きスタッドジベルを 90mm 間隔で 4 本配置したスタッドジベル構造の結果も併記した。これより、アングルジベル構造の引抜き耐力は U 字筋を設置することにより飛躍的に向上している

ことがわかる。また、最大荷重時のフランジ変位も大幅に増加しており、変形性能の向上も確認された。

試験終了後に実施した内部コンクリートの観察結果を図-10に示す。アングル形鋼上端から鋼フランジ側に向けてのひび割れに U 字筋設置の有無による違いはなく、ひび割れは約 60° に分布していた。しかし、U 字筋あり構造に関しては U 字筋に沿ったひび割れが発生しており、引抜き変位増加後に、U 字筋の付着効果によって耐荷力が向上したことを示しているものと考えられた。なお、文献 8) を参考に U 字筋の付着耐荷力を計算すると約 190kN となり、図-9 で示された U 字筋設置の有無による耐力差とほぼ一致した。

3.4. 組合せ力に対する静的耐荷力

引抜き力作用下において橋軸方向水平せん断力を負荷した試験結果を図-11に示す。図の縦軸は破壊時の作用せん断力を図-5 で得られた近似値で無次元化したせん断強度であり、図の横軸は導入した引抜き力を図-9 に示した引抜き耐荷力で無次元化した引抜き強度である。また、図中には、図-5 で示したせん断力のみ作用させた場合の試験結果と、図-9 で示した引抜き力のみ作用させた場合の試験結果をともに示した。これより、データ数が乏しいものの、U 字筋なしアングルジベル構造の組合せ力に対する耐荷力は半径 1 の円弧の相関曲線で表現された。文献 9) ではスタッドジベルに対する設計のための強度評価式として、半径 1 の円弧の相関曲線に対し、低減係数を 0.8 とした曲線を提案しており、アングルジベル構造に関しても同式を使用することが可能と考えられた。なお、引抜き強度の無次元化に際しては、コンクリートの引抜き耐荷力がコンクリート強度の $2/3$ 乗に比例するものと仮定して、コンクリート強度に対する換算を行った。

3.5. 橋軸方向水平せん断力および組合せ力に対する疲労強度

前面載荷による疲労亀裂は、写真-1 に示すように、アングルジベル両端面の R 部から発生し、ジベルフランジに進展して中央部で繋がった。また、背面載荷による疲労亀裂は、写真-2 に示すように、前面すみ肉溶接部のジベル側止端から発生し、鋼フランジに向かって斜めに進展した。このように、アングルジベルの疲労破面はスタッドジベルとは異なり、作用力に対して角度を有した。そのため、疲労強度を応力振幅で評価し、スタッドジベルと直接比較することは困難であると考えられた。

そこで、文献 10) を参考に、図-12 に示すように、疲労強度をせん断耐荷力に対するせん断力振幅の比 (R/Q) で評価することとした。ここで、せん

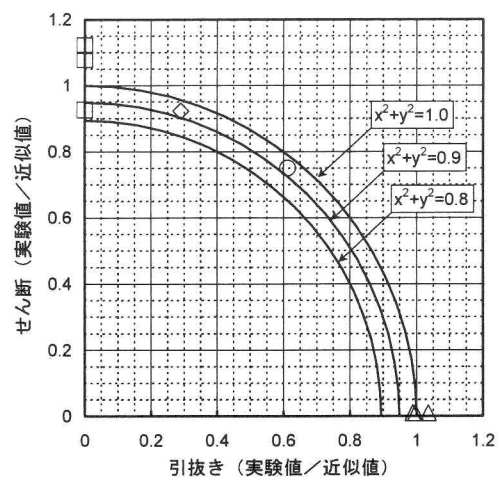


図-11 せん断と引抜きの相関



写真-1 前面載荷による疲労破壊



写真-2 背面載荷による疲労破壊

断耐荷力 Q には、図-5 で得られた近似値を用いたが、せん断力振幅と同時に引抜き力を負荷したシリーズについては、図-11 で示した引抜き力作用によりせん断耐荷力が低下する特性を考慮した。また、図中には、比較のために実施した $\phi 22 \times 200$ 頭付きスタッドジベルの試験結果と文献 10) で提案されたスタッドジベルの疲労強度評価式をともに示した。これより、 R/Q で表した疲労強度は、引抜きありアングルジベル、スタッドジベル、引抜きなしアングルジベルの 3 つに区分され、アングルジベルに関する 2 本の近似曲線の傾きは、スタッドジベルに関する既往の評価式のそれとほぼ同等であった。

また、U 字筋の有無に着目すると、同じせん断力

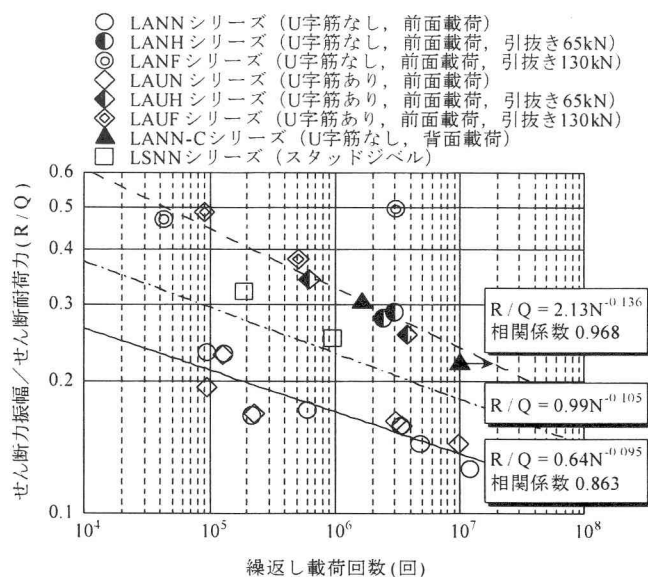


図-12 疲労引抜き試験結果

振幅に対する破壊までの繰返し回数はほぼ同等であり、疲労耐久性に違いは見られなかった。さらに、背面載荷の LANN-C シリーズの疲労強度は、前面載荷の LANN シリーズを大きく上回り、引抜き力を同時に負荷したシリーズと同程度であった。

なお、別途実施したひずみ性状確認試験の結果から、せん断力振幅と同時に引抜き力を作用させた場合の疲労強度がせん断力振幅のみ作用させた場合の疲労強度よりも高くなったのは、組合せ荷重の振幅によってジベルのせん断抵抗部が変動し、それに伴って応力集中部も変動あるいは拡散するためであると推測された¹¹⁾。

3.6. 引抜き力に対する疲労強度

引抜き力の繰返し作用による破壊形態は、試験中の引抜き量により異なった。すなわち、荷重振幅が比較的小さく、試験中の引抜き量が小さい場合には、写真-3 に示すように、アングルジベルの取り付け溶接部が破断した。また、荷重振幅が比較的大きく、試験中の引抜き量大きい場合には、写真-4 に示すように、貫通筋や U 字筋が破断した。これは、引抜き量大きい場合、ジベルとコンクリートの付着が切れ、貫通筋に直接荷重が作用するためであると考えられる。

しかしながら、荷重振幅や引抜き変位の振幅量から、破壊箇所を予測して、個々の疲労強度を特定することは実用上、不便である。そこで、鋼橋の疲労設計では一般的に自動車荷重による疲労損傷のような高サイクル域での破壊を対象としていることから、破壊までの繰返し載荷回数が比較的多い場合に観察された取り付け溶接部の破断に着目し、取り付け溶接部の応力振幅を用いて、アングルジベル構造の疲労強度曲線を設定することとした。なお、荷重振

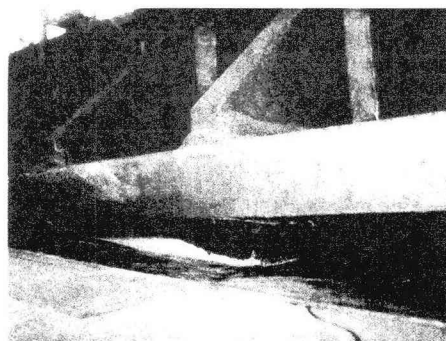


写真-3 アングルジベル取り付け溶接部の破壊

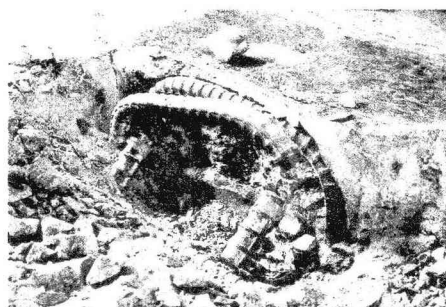


写真-4 貫通筋と U 字筋の破壊

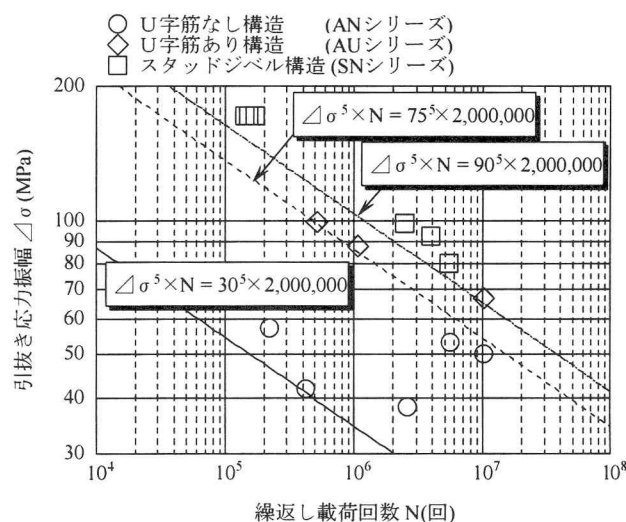


図-13 疲労引抜き試験結果

幅を除く取り付け溶接部の有効面積の算出にあたっては、線形の FEM 解析を実施した。結果として、引抜き力に対しては、前面すみ肉溶接部の全長 (250mm) と側面すみ肉溶接部の一部 (前面すみ肉溶接部から約 50mm の範囲) を抵抗断面とした。

図-13 に、取り付け溶接部の応力範囲を用いて整理した引抜き力に対する疲労試験結果を示す。図中には、比較のために実施した φ22 頭付きスタッドジベルの試験結果をともに示した。スタッドジベル試験体では φ22×200 頭付きスタッドを 90mm 間隔で 4 本配置した。また、文献 12) に示されたスタッド単体の引張疲労試験結果と併せることにより得たスタッドジベルに関する疲労強度曲線も同図に示

した。なお、アングルジベル構造に関しては、今回対象とした高サイクル域での破壊を逸脱する 10^5 回以下で破壊した試験体もあり、データ数に乏しかったため、ここではスタッドジベルに関して得られた傾きを用い、それぞれのデータを包括するように疲労強度曲線を設定した。

その結果、200万回の繰返し载荷に対する応力範囲はスタッドジベル構造が90MPaであったのに対し、U字筋ありアングルジベル構造が75MPa、U字筋なしアングルジベル構造が30MPaとなった。静的载荷試験結果と同様に、U字筋設置の効果が大きいことがわかった。

4. まとめ

鋼とコンクリートの新しいずれ止め構造としてアングルジベル構造に着目し、本構造の基礎的な耐力性能を静的载荷試験および疲労試験により確認した。本研究において得られた結果を以下に示す。

- (1) 橋軸方向に水平せん断力を受けるアングルジベル構造の静的耐力は、U字筋設置の有無や取付け溶接サイズ、アングル形鋼長さ、作用力方向によらず、アングル形鋼の支圧面積とコンクリート圧縮強度の積で整理される。また、降伏せん断耐力（ずれ限界）も、上記構造詳細によらず、最大せん断耐力の約55%であった。
- (2) 橋軸直角方向に水平せん断力を受けるアングルジベル構造の静的耐力は、アングル形鋼側面に面するコンクリートの支圧耐力と貫通筋の耐力の和で求められる。また、その比はD19鉄筋使用時において約3:1である。
- (3) 引抜き力を受けるアングルジベル構造の静的耐力は、（溶接しない）U字筋を設置することにより飛躍的に増大する。また、その増大量はU字筋の付着耐力から推定できる。
- (4) 引抜き力作用下において橋軸方向の水平せん断力を受けるアングルジベル構造の静的耐力は、それぞれの作用力が単独で負荷された場合の耐力をそれぞれ1として、半径1の円弧の相関曲線で表される。
- (5) せん断耐力に対するせん断力振幅の比で評価したアングルジベル構造のせん断疲労強度は、 $\phi 22 \times 200$ スタッドジベル構造よりも小さい。しかし、引抜き力作用下において水平せん断力を受ける場合には、応力集中点の変動するために、スタッドジベル構造よりも高くなる。また、アングルジベル構造では、作用力方向により疲労強度は異なった。
- (6) 取付け溶接部の応力振幅で評価したアングル

ジベル構造の引抜き疲労強度は、 $\phi 22 \times 200$ スタッドジベル構造よりも小さい。しかし、（溶接しない）U字筋を設置することで、疲労強度は大幅に改善される。

謝辞: 本検討は、日本道路公団試験研究所と（社）日本橋梁建設協会による共同研究「鋼橋の接合部に関する研究」の一環として行われたものであり、委員各位に貴重なご意見をいただきました。ここに記して謝意を表する次第です。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3.
- 2) 例えば, 済藤, 八部, 山本, 大垣, 長井: 合成2主桁橋のずれ止め引抜き実験と設計法に関する一考察, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.127-132, 1999.11.
- 3) K.Shito, Y.Kamihigashi, N.Suzuki, T.Tsujimura, M.Sakurada and F.Machida: Study on Transverse Behavior of Connection between Concrete Slab and Corrugated Steel Web, Proceedings of the 1st. fib Congress, pp.233-242, 2002.10.
- 4) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSCテクニカルレポート, No.35, 1996.11.
- 5) 立神, 蛭名, 上平, 柳下: アングルジベルのせん断耐力に関する基礎的研究, 第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.79-84, 1999.10.
- 6) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物), 丸善株式会社, pp.322-324, 1992.10.
- 7) 鈴木, 紫桃, 鈴木, 溝江, 済藤: アングルジベル貫通鉄筋が橋軸直角方向せん断耐力におよぼす影響について, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, I-493, 2003.9.
- 8) 土木学会: コンクリート標準示方書, 構造性能照査編, p.21, 2002.3.
- 9) 大谷, 木下, 辻: 組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの設計強度評価法, 鋼構造年次論文報告集, 第2巻, pp.699-706, 1994.11.
- 10) 平城, 松井, 福本: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導—疲労強度評価式—, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.1233-1244, 1989.3.
- 11) 鈴木, 長田, 溝江, 谷中, 辻: 水平せん断力に対するアングルジベルの疲労強度, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, I-491, 2003.9.
- 12) 済藤, 大垣, 安川, 稲葉: 頭付きスタッド溶接部の疲労強度確認試験, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, I-364, 2002.9.